

決定號誌週期長度之考量因素與相關課題

張瓊文¹ 曾平毅² 林玉茹³

摘要

目前國內對於號誌時制設計並無強制之設計規範，致使各都市對於不同幾何配置，不同交通需求型或不同控制方式（如號誌連鎖、獨立運作等），該如何決定號誌週期長度，常有不同之設計。並且，國內普遍存在長週期之號誌時制可以疏解更多車流量的迷思，即使是離峰時段仍有採長週期的現象。雖然長號誌週期可以提供較多通行時間及疏解車輛數，但也可能造成較大之整體路口延滯，更會增加燃料消耗與空氣污染。經本研究分析臺北市、縣列管的號誌時制資料發現，臺北市路口之週期長度多在 100 秒與 240 秒間，臺北縣路口之週期長度一般在 40 秒與 300 秒間，亦發現其號誌週期長度並未全然依據路口型態（包括車道數、路口寬度等）及交通狀況（包括車流量、車種組成、轉向比等）而設計。經進一步利用模擬模式分析發現，長週期不一定對路口運作績效有助益，當需求為低流率時，使用長週期號誌設計反而會增加其路口延滯；而輸入流率增加時，適當增加週期長度，則會減少路口延滯時間。因此，本研究主要針對決定號誌化週期長度之考量因素、國內設置現況分析與相關議題研討。

關鍵詞：號誌化路口、週期長度、時制計畫

壹、前言

利用交通號誌(traffic signal)來規範、引導路段或路口的車流運行，是目前都市道路設施下最有效與經常性的交通控制方式，但號誌化交叉路口(signalized intersection)卻常是都市道路交通瓶頸所在。號誌時制(timing)設計優劣，會影響一路口、路段甚至整體網路的績效，常見一主要幹道上的壅塞現象，多起因於單一路口的號誌時制設計失當所引起。因此，號誌時制應該如何設計，使車流路權平均分配於各路口方向上，讓車流安全通過不發生衝突，且避免過高的延誤，達到最有效之控制，此乃是交通工程上一項重要的挑戰，亦是值得研究的課題。

根據交通部與內政部會銜訂頒之「道路交通標線標誌號誌設置規則（以下簡稱設置規則）」【1】，建議行車管制號誌之週期長度，以 30 秒至 200 秒為原則。通常而言，週期長度會隨時相數及路口交通量而增加。但目前「設置規則」的號誌週期長度設計原則相當籠統，更無規範性。致使各都市對於不同幾何配置、不同交通需求型或不同控制方式（如號誌連鎖、獨立運作等），該如何決定號誌週期長度，

¹ 交通部運輸研究所運輸計畫組研究員（聯絡地址：106 臺北市敦化北路 240 號 8 樓，電話：02-23496812，E-mail：changcwn@iot.gov.tw）。

² 中央警察大學交通學系教授。

³ 中央警察大學交通管理研究所碩士。

常有不同之設計。

根據臺北市政府交通局網站(<http://www.bote.taipei.gov.tw/flow.asp>)下載臺北市政府 93 年度列管之 107 個路口交通流量資料，並由臺北縣交通局所提供之行政協助，獲得目前臺北市、縣目前列管之完整號誌化路口資料知，上午尖峰號誌週期長度的統計分配情形，如圖 1 與圖 2 所示。從此 2 圖可發現，臺北市路口之週期長度在 100 秒~240 秒間，臺北縣路口之週期長度一般在 40 秒~300 秒間，但中和市中山路與景平路口則有長達 516 秒之週期、土城市中央路三段與大安路路口的週期有 306 秒。其中，臺北縣、市之週期長度分別有 12%、6.8% 超過 200 秒，且臺北市有 82.7% 的路口週期長度等於 200 秒，可以看出兩縣市的號誌週期長度設計概念，明顯地有所不同。

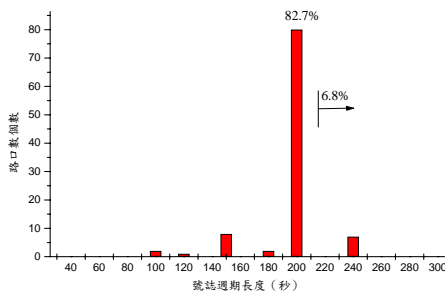


圖1 臺北市號誌週期長度頻次統計圖

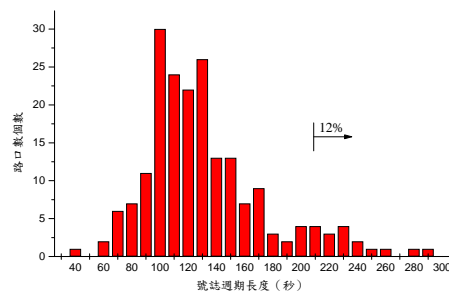


圖2 臺北縣號誌週期長度頻次統計圖

實務上而言，國內普遍存在長週期之號誌時制可以疏解更多車流量的迷思(即使是離峰時段仍有採長週期的現象)，故交通繁忙之都市，常有較長週期的號誌設計。雖然長號誌週期可以提供較多通行時間及疏解車輛數，但也可能造成較大之整體路口延滯，更會增加燃料消耗(fuel consumption)與空氣污染(air pollution)。因此，了解號誌週期長度之現況，探討週期決定之考量因素與相關議題，乃為本研究之主要目的。

貳、決定號誌週期之考慮因素

目前國內號誌週期之決定主要參考交通部「**道路交通標線標誌號誌設置規則**」【1】第 233 條建議，行車管制號誌之週期長度以 30 秒至 200 秒為原則。在時制設計時，並應考慮交叉路口車輛交通量、流向、車速、路況及行人穿越數等因素，並使路口延滯、車輛停等次數、燃料消耗量及廢氣排放量等負效用最小；或使車輛通行有效綠燈帶寬最大為指標，據以設計時制。另外，「**交通工程手冊**」【2】則強調號誌運轉必須符合交通需求，所以在道路號誌設置前必須對擬設置之地點，詳盡調查其交通資料與道路情況，俾能據以釐清適當之號誌時制。此外，設置號誌也需符合手冊所述必要條件之一，例如 8 小時汽車交通量、4 小時汽車交通量、尖峰小時汽車交通量、行人穿越數、學校出入口、肇事記錄、配合幹道連鎖、配合路網管制等，在手冊都有詳細規定。

1994 年版的美國公路容量手冊(HCM)【3】，係採用臨界車道及臨界流動的概念計算週期，以週期內的損失時間應佔的比例反推最小需要週期時間，其中一時相綠燈時間的計算乃以臨界流動需要的最小綠燈時間為主，並在計算出期望週期後取整數週期，以利時制的設定。每時相的有效綠燈時間則以全週期的有效綠燈時間乘上臨界流動佔總流量之比值。其中 S_0 表示在某種服務水準下每車道每小時理

想的流量。期望最小週期(C_{des})的公式如下：

$$C_{des} = \frac{3N}{1 - \frac{V_c}{0.85S_0PHF(v/c)}} \quad (1)$$

其中，

C_{des} ：期望最小週期(秒)；

N ：時相數(個)；

V_c ：臨界流量(vpl)；

PHF ：尖峰小時因素；

v/c ：流量與容量比。

時相 i 內有效綠燈時間 g_i (秒)計算如下：

$$g_i = (C - L) * \frac{S_i}{V_c} \quad (2)$$

其中，

C ：一週期長度(秒)；

L ：全週期損失時間(秒)；

S_i/V_c ：臨界流量佔路口流量比。

一般而言，號誌設計基本考量的項目有：號誌設置目的、時段分配、時制計畫、最基本通行需求、路口號誌績效最佳化或負面影響最小化及時制最佳化評估，包括路口總延滯、車輛停等次數、能源消耗量、廢氣排放量、交通肇事頻率及交通噪音水準等最小，旅行者時間成本節省、路口服務車輛數最多、燃油節省等最大【4】。

參、臺北市與臺北縣之現況分析

本研究以臺北縣、市之四叉號誌化路口為資料分析對象，以初探目前該兩地區對於號誌設計之現況。基本資料包括各號誌化路口之車道數、號誌時相數、號誌週期長度；左轉、右轉、直進車流量；總大車、小車、機車車輛數等。

3.1 臺北市現況分析

從臺北市政府交通局網站共可下載 93 年度列管之 107 個路口交通流量資料，經扣除 5 個多叉路口，15 個三叉路口，共有 87 個四叉路口資料。分析如下：

一、路口交通特性基本資料

- 1.路口尖峰小時流量介於最大值 13,840 pcu/hr 與最小 2,112 pcu/hr 間，平均值為 7,435 pcu/hr，標準差為 2,108 pcu/hr。
- 2.左轉平均轉向流率為 813 pcu/hr，最大左轉量為 3,990 pcu/hr，最小為 0 (禁止左轉路口)。
- 3.右轉平均轉向流率為 1,270 pcu/hr，最大右轉量為 4,686 pcu/hr，最小為 150 pcu/hr。

- 4.直進車輛流率，最大量為 10,387 pcu/ hr，最小為 2,112 pcu/ hr。
- 5.車種組成方面，仍以小車與機車為主，各路口大車比例範圍為 0.01~0.11，小車比例範圍為 0.23~0.84，機車比例範圍為 0.14~0.76，多數路口小車與機車二者合計已達 0.98 以上，其中部分路口機車比例甚至可達 0.70，而大車比例相當有限。

二、車道配置類型

本研究以路口車道數來劃分臺北市四叉路口型態⁴，除「其他」對向車道數不對稱型態有 57 個路口（其中包括兩對稱方向之車道數差自 1 個車道至 5 個車道，多數相差在 2~3 車道間）外，以(3,3)和(4,2)等兩類型各有 6 個路口為最多，(3,1)和(4,4)各有 4 個路口為次多，而(5,4)亦有 3 個路口。詳細如表 1 所示。

表1 臺北市路口車道配置類型

路口類型	(2,1)	(2,2)	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(4,2)
小計	1	1	4	6	2	6
路口類型	(4,3)	(4,4)	(5,2)	(5,4)	其他	合計
小計	1	4	2	3	57	87

三、時相數與週期關係

本研究分析臺北市共 87 個路口，因部分路口上下午尖峰時間週期長度不同，故將上下午週期長度次數分別計算，計有 174(87×2)個週期。一般而言，週期長度與時相數成正比關係，週期長度越長，時相數亦隨之增加。但由表 2 可知，臺北市路口週期長度均集中在 200 秒，佔 82.75%，故臺北市之週期長度與時相數並無直接關係。這可能是因為臺北市多數路口皆有「號誌連鎖」之設計，為了配合路口號誌連鎖，將大部分路口號誌週期皆設計為 200 秒。

表2 臺北市路口時相數與週期關係

週期(秒)	100	150	180	200	240	合計
時相數						
2	4	10	2	89	7	112
3	0	2	0	41	5	48
4	0	0	0	14	0	14
合計	4	12	2	144	12	174

四、類型與週期關係

路口類型與週期之關係如表 3 所示，由表可知，不論那一類型，都是以週期 200 秒為最多。而扣除不對稱之「其他」類型後，臺北市路口類型三車道以下、四車道以上分別佔全部路口之 47%與 53%。週期 180 秒以下僅佔全部路口之 12%，其餘皆為週期 200 秒以上路口。以上均未顯示週期會隨著路口類型的不同而有所變化。

⁴ 「(1,1)」表示東西南北四個方向皆為一車道；「(2,1)」表示縱向、橫向路口分別有一為雙向各兩車道、雙向各一車道，以此類推，本研究兩地資料共可將路口從「(1,1)」至「(6,5)」分成 15 類，再加上「其他」代表該路口對向兩方向之車道數不對稱的型態，共計有 16 類型。

表3 臺北市路口類型與週期關係

週期(秒) 類型	100	150	180	200	240	合計
(2,1)	0	0	0	2	0	2
(2,2)	2	0	0	0	0	2
(3,1)	0	2	0	6	0	8
(3,2)	0	2	0	10	0	12
(3,3)	0	0	0	2	2	4
(4,2)	0	0	0	12	0	12
(4,3)	0	0	0	2	0	2
(4,4)	0	0	0	8	0	8
(5,2)	0	0	0	4	0	4
(5,4)	0	0	1	5	0	6
其他	2	8	1	93	10	114
合計	4	12	2	144	12	174

五、流量與週期關係

表 4 顯示臺北市路口流量與週期之關係。其中週期等於或大於 200 秒以上者，佔全部路口之 89.65%。流量在 6,000pcu/hr 以上者佔全部路口之 74.71%，餘 12.07% 流量介於 5,000~5,999pcu/hr 間，13.22% 路口之流量低於 5,000pcu/hr。

表4 臺北市路口流量與週期關係

週期(秒) 流量(pcu/hr)	100	150	180	200	240	合計
≥10,000	0	0	1	12	0	13
8,000~8,999	0	0	0	55	7	62
7,000~7,999	0	0	1	24	2	27
6,000~6,999	0	5	0	23	0	28
5,000~5,999	2	4	0	14	1	21
2,500~4,999	2	3	0	14	2	21
≤2,499	0	0	0	2	0	2
合計	4	12	2	144	12	174

圖 3 為臺北市路口流量與週期關係圖。因大部分路口週期都是 200 秒外，導致在週期為 200 秒之位置出現一近乎連續直線分佈，此圖顯示流量越高，週期亦越高的趨勢。

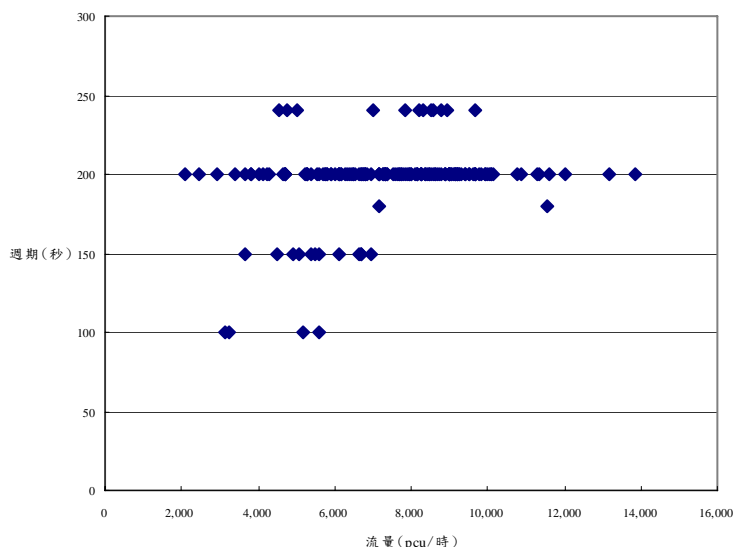


圖3 臺北市路口流量與週期關係圖

3.2 臺北縣現況分析

經向臺北縣交通局取得其列管之 246 個路口交通量資料，扣除 14 個多叉路口，3 個二叉路口，97 個三叉路口，以下共分析 135 個四叉路口資料。

一、路口交通特性基本資料

1. 個別路口流率，介於最大總流率 14,345 pcu/hr，及最小 873 pcu/hr 間，平均值 4,641 pcu/hr，標準差達 2,347 pcu/hr，顯示路口交通特性差異非常大。
2. 左轉轉向交通量介於最大左轉流率為 4,111 pcu/hr，與最小值 0(代表該路口禁止左轉)之間；各路口左轉比例在 0~0.57 間。
3. 右轉轉向交通量介於最大右轉流率為 5,126 pcu/hr，與最小值 49 pcu/hr；各路口左轉比例在 0.02~0.56 間。
4. 直行車部分，最大直進流率為 9,770 pcu/hr，最小為 342 pcu/hr；各路口直行車比例約在 0.6~0.97。
5. 車種組成方面，各路口大車比例範圍為 0~0.08，小車比例範圍為 0.20~0.94，機車比例範圍為 0.01~0.78。機車比例很高，少數路口甚至可達 0.78，較前述臺北市情況稍高，但個別路口差異頗大；大車比例普遍很低，絕大多數在 0.03 以下。

二、車道配置類型

以車道數來劃分臺北縣路口型態，除不規則 P 類有 58 個路口外，(1,1) 共有 54 個路口，(1,2) 有 44 個路口，(2,2) 有 10 個路口，(3,1) 有 5 個路口，(3,2) 有 9 個路口。如表 5 所示。

表5 臺北縣路口車道配置類型

類型	(1,1)	(2,1)	(2,2)	(3,1)	(3,2)	(3,3)
小計	27	22	10	5	9	1
類型	(4,2)	(6,3)	(6,5)	其他	合計	
小計	1	1	1	58	135	

三、時相數與週期關係

本研究共分析臺北縣 135 個路口，因部分路口上下午尖峰時間週期長度不同，故將上下午週期長度次數分別計算，計有 270(135*2)個週期。

臺北縣號誌化路口之週期長度範圍較廣，不像臺北市只有 100 秒、150 秒、180 秒、200 秒、240 秒五種週期長度。為了分析方便，本研究將臺北縣路口號誌週期長度分別以 100 秒、150 秒、180 秒、200 秒、240 秒、300 秒為界，分成 7 種。表 6 整理了臺北縣路口號誌時相數與週期關係，路口大部分為 2 時相，少部分為 3、4 時相。

表6 臺北縣路口時相數與週期關係

週期(秒) 時相數	≥300	240~ 299	200~ 239	180~ 199	150~ 179	100~ 149	≤99	合計
2	2	3	10	4	17	116	66	218
3	2	4	4	1	15	10	4	40
4	0	0	6	2	4	0	0	12
合計	4	7	20	7	36	126	70	270

四、類型與週期關係

臺北縣路口中，除「其他」類型計有 116 個路口，主要週期長度在 100-149 秒外，其餘二車道以下、三車道以上分別佔全部路口之 77%與 23%，週期長度主要在 150 秒以下，約佔 83%。路口類型與週期之關係如表 7 所示。

表7 臺北縣路口類型與週期關係

週期(秒) 類型	≥300	240~ 299	200~ 239	180~ 199	150~ 179	100~ 149	≤99	合計
(1,1)	0	0	0	0	2	17	35	54
(2,1)	0	0	0	0	2	26	16	44
(2,2)	0	0	2	0	0	18	0	20
(3,1)	0	0	2	0	2	6	0	10
(3,2)	0	0	0	0	10	8	0	18
(3,3)	2	0	0	0	0	0	0	2
(4,2)	0	0	0	0	2	0	0	2
(6,3)	0	0	2	0	0	0	0	2
(6,5)	0	0	0	0	0	2	0	2
其他	2	7	14	7	18	49	19	116
合計	4	7	20	7	36	126	70	270

五、流量與週期關係

臺北縣路口流量與週期之關係如表 8 所示。週期長度未滿 150 秒路口佔全部之 72.60%；週期長度介於 150-180 秒之路口佔全體路口之 13.33%，餘 14.07% 為週期長度大於 180 秒之路口。流量未滿 5,000pcu/hr 之路口佔全部之 61.85%；流量介於 5,000-6,999pcu/hr 佔 21.48%，餘 16.67% 為流量大於 7,000pcu/hr 以上之路口。

表8 臺北縣路口流量與週期關係

週期(秒) 流量(pcu/hr)	≥300	240~ 299	200~ 239	180~ 199	150~ 179	100~ 149	≤99	合計
≥10,000	0	2	0	0	0	2	0	4
8,000-8,999	2	2	5	2	3	4	0	18
7,000-7,999	0	1	5	2	5	8	2	23
6,000-6,999	0	1	3	1	9	16	0	30
5,000-5,999	2	1	4	0	6	14	1	28
2,500-4,999	0	0	3	2	13	61	33	112
≤2,499	0	0	0	0	0	21	34	55
合計	4	7	20	7	36	126	70	270

圖 4 為臺北縣路口流量與週期關係圖。可明顯發現臺北縣路口流量呈現當路口流量越高，週期長度亦隨之增加的趨勢。

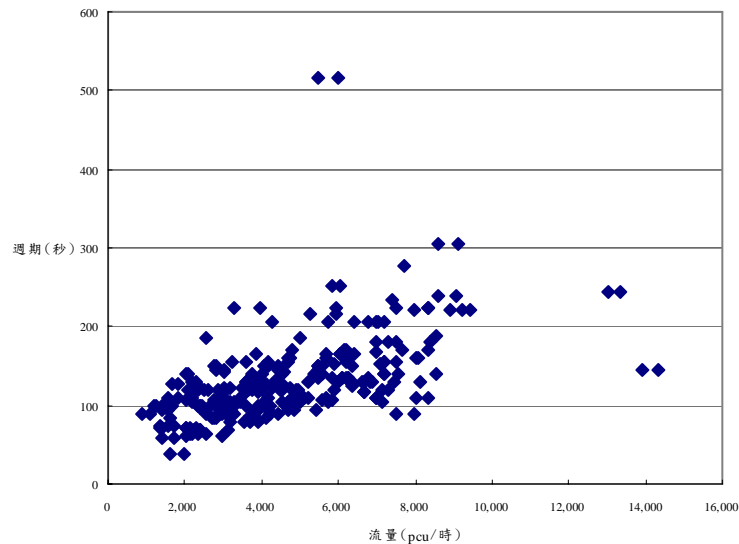


圖4 臺北縣路口流量與週期關係圖

3.3 初步討論

- 一、在路口特性方面，由上述分析我們得知，臺北縣、市各四叉路口交通量方面，分別介於870~15,000 pcu/hr及2,100~14,000 pcu/hr，顯示路口交通量差異頗大，其中臺北縣各路口間之差異又大於臺北市路口間之差異。二地區之交通量車種組成類似，皆以小車及機車為主，大車僅佔非常少的比例，其中北縣的機車比又略大於臺北市者均達到五成以上。
- 二、在週期長度方面，經統計臺北市週期長度有82.75%均集中在200秒（經洽詢臺北市政府交通局知，很多路口以200秒為週期，係因應號誌連鎖需要），且週期長度種類只有100秒、150秒、180秒、200秒、240秒五種；臺北縣週期長度種類較多，其中以100~149秒所佔的比例最高，約有47%，少於99秒者約佔26%。
- 三、若進一步探討其與時相、路口類型及流率間之關係，可發現：
 1. 沒有時相愈多週期愈長的趨勢，大多數的時相是二時相。

- 2.週期長度與路口類型間並未有明顯的關係。
- 3.週期長度與路口流率間略有流量愈大週期愈長的趨勢,其中又以臺北縣的趨勢較明顯。

肆、二時相運作效率模擬分析

為進一步了解二時相號誌化路口之運作績效,本研究同時應用模擬分式來分析其運作績效。主要係利用本土開發之 HTSS 模式【5,6,7,8】,分別就(1,1)、(2,1)、(2,2)、(3,1)、(3,2)等五種類型路口,在不同交通流率情況,進行路口不同週期運作績效模擬分析。

以(1,1)路口為例,本類路口為幹、支道各有 1 車道之型態,圖 5 為總流率與延滯之散佈圖,由圖知,同一週期下,當欲通過此路口之總流率愈高時,其路口平均每車總延滯隨之增高,然而,在同一種流率之下,延滯並非隨著週期增加而減少,相反的,長週期之延滯通常比短週期來得大。

此外,在較高流率情境下,延滯最短之週期將由 60 秒改變成為 80 秒或 100 秒,輸入總流率超過 1,200vph 時,週期長度 60 秒、80 秒、100 秒與週期長度 120 秒、140 秒、160 秒漸漸區分成兩個群組,其中前群(含 60 秒、80 秒、100 秒)之延滯低於後群之延滯,顯示在本路型週期長度超過 100 秒以上,對於路口運作效率無明顯之提升效果。

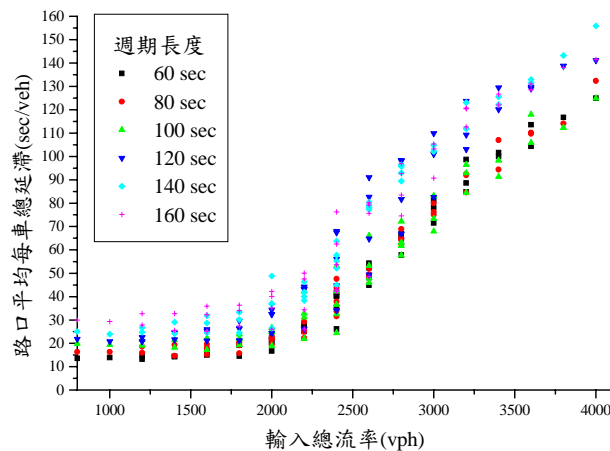


圖5 路口(1,1)輸入總流率與平均每車總延滯關係圖

由圖亦知,輸入流率大於 2,000vph 時,各週期延滯時間的最大值與最小值差異相差甚多,顯示當車流大到某一程度時,整體運作已呈現不穩定狀態。以週期 160 秒為例,輸入總流率未滿 2,000vph 時,其延滯之最大值與最小值差異甚低,均在 30 秒與 40 秒間;直到輸入總流率達到 2,000vph 時,差異逐漸擴大,表示此時車流已開始呈現不穩定狀態,顯示該狀態已相當接近容量。當輸入總流率大於 3,000vph 時,需求流量已遠大於容量,延滯時間已高達 90 秒,趨勢直線上升。

經比較(1,1)、(2,1)、(2,2)、(3,1)、(3,2)等 5 類路口型態之模擬結果,可歸納出各種不同路口類型號誌週期長度與其路口特性之關係如下:

- 1.由各類型路口於不同週期與輸入流率組合情境下之模擬結果知,長週期不一定對路口運作績效有助益,以本研究所模擬之獨立號誌化路口而言,不論何種

路口型態，當週期長度超過 100 秒，其運作績效皆較差，週期 60-100 秒間則可視路口型態與車流率組合再評估給予最佳週期。

2. 一般而言，各情境於低流率狀態時，延滯會有一段平穩的區間，直到流率大到某一程度時，延滯則會呈現大幅上升的情形，以(1,1)路口為例，該情形約產生在輸入流率為 2,000vph 開始，(2,1)路口約發生在 2,500vph，(2,2)路口約發生在 3,200~3,600vph，3*2 約發生在 4,000~4,200vph。
3. 相同週期與流率之下，車流在較大路口運行效率較佳，以週期 100 秒為例，1*1 路口在 2,000vph 情況下，平均每車延滯約在 28 秒，在 2*1 路口則大約有 20 秒，在 2*2 路口則有 19 秒，在 3*2 路口則僅有 17 秒。
4. 本研究整理在綠燈時比隨幹、支道流率比變化之各種情境下，最小延滯發生之週期長度，如圖 6 所示。以路口類型 1*1 為例，所模擬之情境輸入流率範圍 800~4,000vph，週期長度為 60~160 秒，其中，當輸入流率小於 2,000vph 時，以週期 60 秒之延滯最低；當輸入流率大於 4,000vph 時，則以週期 100 秒之路口運作效率最佳。

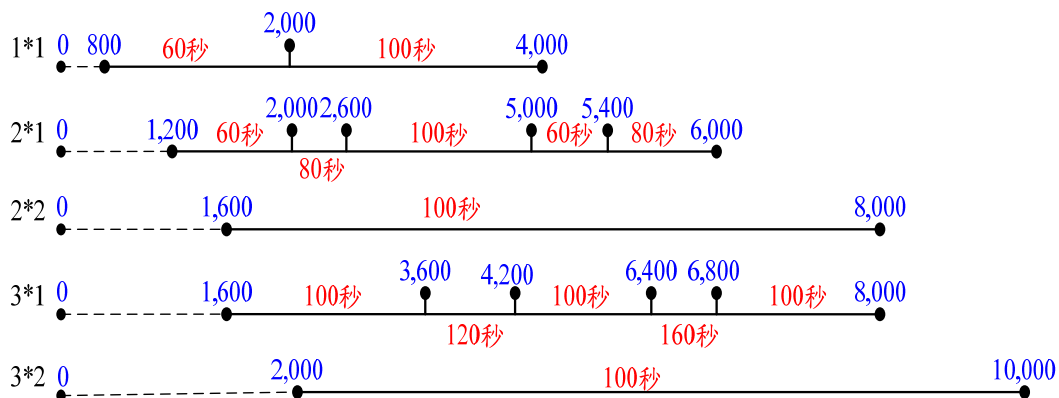


圖6 各類型路口不同流率下之最小延滯週期

伍、結語

由前述臺北縣市號誌化路口現況運作及本研究模擬分析結果，可發現在週期長度方面有相當之差距，現況分析多在 100 秒以上，其中臺北市因應連鎖需要應高達 200 秒，但經由模擬分析結果顯示，二時相路口不論何種路型，多以 100 秒為平均每車延滯最小之狀態，因此本研究歸納在週期的決定上至少應思考下列之課題：

一、釐清號誌設置之目的及其所須涵蓋的範圍

由現況與模擬結果的差距知，號誌連鎖的設定，有時對個別路口延滯可能會加大，因此在決定是否需要號誌連鎖時，應仔細評量設置號誌的目的，並界定所須分析的範圍。

二、在控制邏輯上需要加強綠燈有效利用之比率

現況週期狀況下，很多路口的綠燈經常會有 1/3 以上的時間是沒有車輛使用的，以二時相週期 200 秒的路口為例，若假設黃燈時間約為 5 秒加上全紅時間 5 秒，則幹道至少可以分得 95 秒以上的綠燈時間，加上因市區街廓較短，受上游路口影響很大，故經常會有 30 秒以上的綠燈時間已無車輛，如此雖然幹道

之車流完全疏解，但支道延滯就會增加。因此，在號誌控制的邏輯上需要再加強綠燈時段的使用效率。

三、確認所需之績效評估指標

評估號誌化路口之績效指標，大致上可分為：1.以容量為基礎之指標、2.以環境品質或車輛使用成本為基礎之指標、3.以延滯為基礎之指標及 4.以車輛停等為基礎之指標等 4 類【8】，一般常用的績效指標為車輛延滯及停等車隊之長度。這些指標大致存有正向相關的關係，但因其個別衡量的重點不同，經在前述分析範圍內加總後，可能會有不一樣的評估結果，因此不同的個案應視其分析目的選定合適的評估指標，方可有最具效用的結果。

上述各項議題之思考與評估，於今電腦應用相當便捷的時代，透過模擬分析可獲得相當具體的效果，但必須要注意模擬模式之車流行為，能否真正反應實際之運作狀況，否則將無法獲得具體可行之結果。

參考文獻

1. 交通部、內政部，「道路交通標誌標線號誌設置規則」，民國92年。
2. 交通部，交通工程手冊，民國93年。
3. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, National Research Council, Washington, D.C., 1994.
4. 交通部運輸研究所，號誌設計因素之探討，民國93年。
5. 交通部運輸研究所，2001年台灣地區公路容量手冊，民國90年。
6. 交通部運輸研究所，台灣地區多車道郊區公路容量及特性研究(一)，民國93年。
7. 交通部運輸研究所，台灣地區多車道郊區公路容量及特性研究(二)，民國94年。
8. 交通部運輸研究所，台灣地區多車道郊區公路容量及特性研究(三)，民國95年。

利用車輛偵測器偵測速率資料建立空間旅行速率之預測模式

邱裕鈞¹ 艾嘉銘² 廖梓淋³

摘要

本文利用高速公路之車輛偵測器及自動車牌辨識系統 (automatic vehicle identification, AVI) 兩種設備所蒐集之交通資料 (前者為時間平均速率, 後者為空間平均速率), 透過多元迴歸技術建立不同交通情境下兩者間之最佳關係式。為驗證本文所提概念模式之可行性與預測績效, 本文以國道三號北上 111K 至 120K 路段作為實證。該區段內設有兩座 AVI (用於蒐集此區間之旅行時間及空間平均速率) 及四座 VD (用於蒐集與 AVI 同一時段之時間平均速率), 以迴歸分析建立時間平均速率與空間平均速率之關係式。

關鍵詞：時間平均速率、空間平均速率、多元迴歸分析

壹、前言

先進旅行者資訊系統 (advanced traveler information system, ATIS) 為智慧型運輸系統的一項重要子系統, 係整合不同的交通資料, 以即時或預測方式提供交通資訊給用路人參考, 包括交通事故地點、車輛擁擠、旅行時間等, 協助用路人掌控旅行時間, 進而作為用路人路徑選擇之參考。其中, 預估旅行時間與路段旅行速率為最重要之交通資訊項目之一。惟用路人關心之旅行時間或旅行速率係指其起迄兩端間之行駛所需時間及能夠保持之平均速率, 即所謂之空間平均速率 (space-mean speed)。但目前高速公路相關主管機關所提供之即時路況資訊, 主要係根據車輛偵測器 (vehicle detector, VD) 所測得之平均現點速率 (time-mean speed) 來加以推估。此與用路人實際行駛高速公路之旅行速率 (時間), 可能產生兩種誤差。第一種為時間誤差, 即時路況資訊所提供的乃是即時交通資訊, 用路人查詢此項資訊之時間, 可能與實際用路時間存有一定程度之時間落。因此, 更理想之路況資訊系統應能提供一定長度之預測功能 (例如, 用路人在上午 10 點查詢當天下午 2 點某一段高速公路之旅行速率)。第二種誤差來自於以現點速率推估空間速率之誤差。此以平均現點速率推估空間平均速率 (space-mean speed) 所可能導致之偏誤卻未加以實證及克服。基此, 高速公路主管機關乃於部份路段設置車輛自動辨識系統 (automatic vehicle identification, AVI), 用以追蹤某一部車行駛某一路段之旅行時間, 期提昇即時交通資訊之品質。惟囿限預算限制及政策考量, 目前未能全線佈設。因此, 如能建立 VD 所測得資料與 AVI 旅行速

¹ 逢甲大學交通工程與管理學系副教授 (聯絡地址: 台中市 407 西屯區文華路 100 號, 電話: 04-24517250 轉 4666, E-mail: ycchiou@fcu.edu.tw)

² 逢甲大學交通工程與管理學系講師

³ 逢甲大學交通工程與管理學系學生

率間之關係，即能利用高速公路全線密集佈設之 VD 偵測資料推估空間平均速率，據以提供有效精確之交通資訊。基此，本文即針對此一問題加以檢視及探討，嘗試利用車輛偵測器所測得之速率資料建立空間平均速率之預測模式。

環路線圈式偵測器[1]為最常見之偵測器，主要原理是運用冷次定律，以金屬環路線圈埋設於路面下，藉車輛通過該線圈而改變線圈之電感量，以偵測出該車道之流量及佔量，根據通過兩組環路線圈之時間點可求得車速及車長，車長即可做車種之判別；其辨識率不受天候影響達 95%，兩車道設置成本約 20 萬，每年維護與營運成本約 3 萬，比起其他交通資料蒐集器顯具有相當之成本效益。環路線圈埋設於車道下，對用路人而言，不會造成景觀之衝擊，但施工維護時須長時間封閉車道為其主要缺點，目前國道全線均有佈設。環路線圈組其幾何形狀並無特定之規範要求，較常被採用之環路線圈幾何形狀有三角形、多邊形、圓形、四方形、菱形，各種形狀有其優劣點，說明如下：1. 三角形：施工方便，但寬度較大；2. 多邊形：於切割路面與安裝線圈時需要較多的工作時間；3. 圓形：可得最佳的偵測效果，惟需採用直線切割機與圓形切割機方能施作，且尺寸大小固定無法配合路幅寬度調整；4. 四方形：安裝與施工容易，適用於匝道上；5. 菱形：可得較佳的偵測效果，適用於較寬之車道。至於 AVI 系統，主要係利用自動車牌辨識技術，透過影像處理辨識的演算法，包含有樣板比對法及新開發的人工智慧類神經網路字元辨識法。其中樣板比對法是第一代的影像處理技術，其做法是將所擷取的影像資料與資料庫內的既有資訊作比對，以求得正確的結果，目前該方法已經幾乎不被採用，因為目前各國的車牌並沒有統一，許多國家的車牌甚至有兩行文字或中文，所以將造成資料庫非常龐大且辨識時間過長。不過目前台灣地區車牌採用單一行英文字母及阿拉伯數字的組合，因此在國內並不至於有前述的缺點。現在採用的為模擬人類辨識能力的方法，即類神經網路技術。當然，AVI 之辨識效果受許多因素影響，包括天候環境不佳、照明不足、攝影機的位置擺設不當、車牌變形、車牌污損、大型車（聯結車）擋住小客車、車輛越線行駛等。目前國道自動車牌辨識系統尚在測試階段，不久後於少數路段佈設。

根據王文麟（民 87）[2]指出時間平均速率 (U_t) 是指在已知時段內，通過某特定點時，各車輛行駛速率的算術平均值，亦即個別線點速率的算術平均值。時間平均速率可由 VD 所測得各車輛速率依下式加以計算而得：

$$U_t = \sum_{i=1}^N \frac{U_i}{N} \quad (1)$$

其中， U_t ：為時間平均速率。 U_i ：VD 所測得第 i 輛車之速率。 N ：車輛數。此時車

流密度為 $D = \frac{N}{L}$ 、流量為 $Q = \frac{\sum_{i=1}^N U_i}{L}$ 。空間平均速率 (U_s) 指在已知路段 L ，其與各車輛分別通過 L 所需時間平均值之比，亦即由全程行駛平均總時間所求出的速率平均值。空間平均速率則由下式求得：

$$U_s = \frac{NL}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (2)$$

其中， U_s ：空間-平均速率。 L ：測試路段長度。 t_i ：第 i 輛車的行駛時間。此時

的車流密度為 $D = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{TL}$ 、流量為 $Q = \frac{N}{T}$ 。 T 為抽樣車輛的平均行駛時間（秒）。在同一抽樣觀察中，空間平均速率值低於與其相當的時間平均速率值，因空間平均速率賦與車速較慢車輛的加權數較大，亦及低速車輛在路段中筆高速車輛所佔用的時間較長。

此外，在均質條件下（指車種、車速均相同的情境），時間平均速率與空間平均速率間之轉換公式如下：

$$U_t = U_s + \frac{\delta_s^2}{U_s} \quad (3)$$

$$U_s = U_t - \frac{\delta_t^2}{U_t} \quad (4)$$

其中， δ_s^2 代表空間平均速率的變異數。 δ_t^2 代表時間平均速率的變異數。當然，實務上，高速公路行駛車種與車速不可能為均質情境，但此一公式可供作建立迴歸模式時，變數選擇之參考。影響車輛速率的因素繁多，包括：1. 駕駛者與乘客的願望及行程長短，若僅有一人車速可能較高，借道或過境交通比地區性交通快，女性駕駛較男性為慢；2. 駕駛者習慣與車輛種類，駕駛習慣因人、地、時有所不同難有定論，根據台灣地區公路調查行駛速率最高者為小客車，最慢為大貨車，而最高及最低速差可能超過 30KPH；3. 路線設計及路面狀況，在坡度大於 5% 和坡長在 200 公尺以上的縱坡上，上下坡均受到很大的影響；4. 路旁發展及土地使用情形；5. 交通流量的多寡，當交通量增加時，由於超越困難及有高速車輛不得不跟隨慢速車輛依序前行，線點速率與平均值均會顯著下降，即使是多車道亦然，中間車到較外側車道所受影響更大；6. 天氣及能見度也是影響行駛速率的重要因素；7. 時間的影響：在自由行駛狀態下，一周內平日無太大變化，卻有季節性或月份性差異，在天氣晴朗下夏天的平均現點速率略低於冬天；8. 速限的影響。

貳、研究方法

本文主要係以多元線性迴歸（multiple liner regression）技術建構空間速率之預測模式。一般而言，迴歸分析具有三大功能：(1) 做描述用：利用迴歸模式建立模式 $y=f(x)$ 後，可用來描述 x 是如何影響 y 。(2) 做預測用：有時因變數 y 的量測事前不能獲得，研究者想要在真正數據獲得前就能知道他們的值大約是多少；或者 y 值要花費很高的代價才能獲得，但是相對的預測變數 x 的花費便宜得多，本研究主要因為 AVI 僅於高速公路少數路段佈設，而全線均埋設 VD，取得 VD 資料相對容易。(3) 做控制用：控制與預測剛好相反，預測是給定輸入 x 求出 y ，而控制則是欲得輸出 y ，求應放入什麼樣的輸入 x 。

由一個因變數 Y 及 m 個自變數組成的線性多元迴歸模式可用下式表示：

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_mx_m + \varepsilon \quad (5)$$

其中， Y ：為 AVI 之空間平均速率； x_i ：第 i 個 VD 所測得之時間平均速率 ($i=1, 2, \dots, m$)； b_i ：迴歸參數 ($i=1, 2, \dots, m$)； ε ：誤差項。若有 n 個樣本資料，則

可表示成：

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_0 + b_1x_{11} + b_2x_{21} + \dots + b_mx_{m1} + \varepsilon_1 \\ b_0 + b_1x_{12} + b_2x_{22} + \dots + b_mx_{m2} + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ b_0 + b_1x_{1n} + b_2x_{2n} + \dots + b_mx_{mn} + \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

如以矩陣來表示，則可改成：

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{m1} \\ 1 & x_{12} & \dots & x_{m2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

此多元迴歸模式 $Y = x \cdot b + \varepsilon$ 可用最小平方來求回歸係數 b 的數值。最小平方方法的目的要找出未知係數的數值，使誤差平方和 (error sum of squares, ESS) 為最小。另外，應用迴歸分析時必須檢定以下幾項假設：(1) 自變數係數之正負符號與顯著性符合先驗知識；(2) 無線性重合問題；(3) 誤差項與變異數同質性；(4) 無自我相關現象；(5) 誤差項符合常態分配，平均值數 0，變異數為 σ^2 之 $N(0, \sigma^2)$ 。

參、資料蒐集與分析

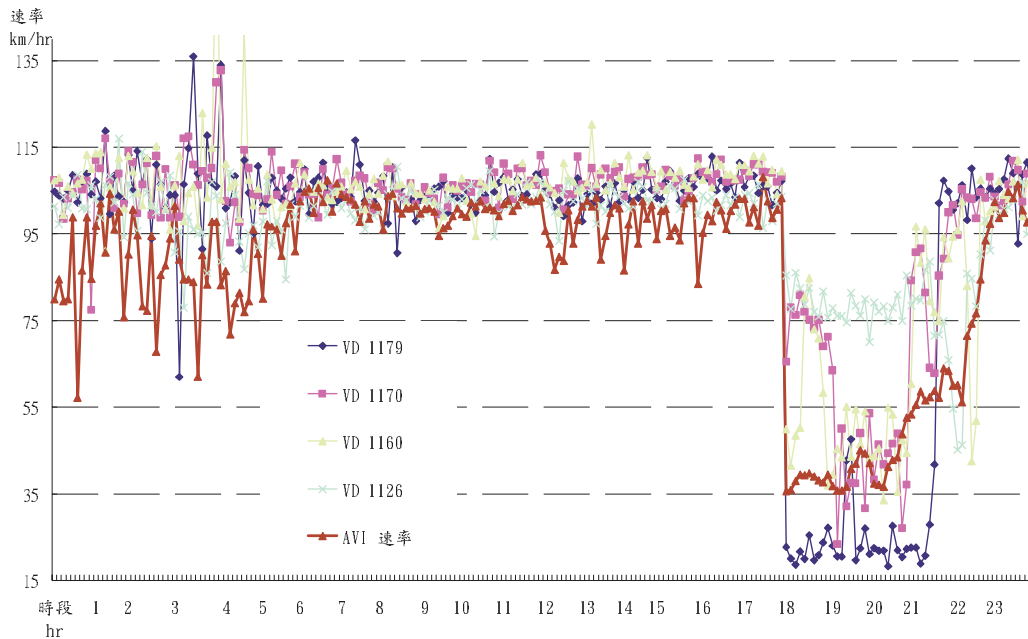
為建立空間平均速率之預測模式，本文以國道三號竹南西濱段北上路段 120K+900 及 111K 處設置之兩座 AVI 系統及其間四座 VD(分別位於 117K+993、117K+043、116K+013、112K+623，便於辨別，分別以編號 1179、1170、1160 及 1126 稱之) 所蒐集之空間平均速率及時間平均速率資料為基礎，進行模式建構及討論。此兩處 AVI 間隔約 10 公里，其間設置兩處交流道，但未設有休息站。

其中，AVI 係隨機抽樣紀錄每分鐘通過之車輛，以計算每分鐘一筆之空間平均速率。VD 所測得之交通資料則為每二十秒一筆，內容包括：時間、車道數、小車流量 (輛/20 秒)、大車流量、聯結車流量、小車速度 (公里/小時)、大車速度、聯結車速度、小車長度 (公尺)、大車長度、聯結車長度、車間距 (公尺)、占有率 (%)、有效期標 (N：正常 B：異常) 等資訊，本研究僅使用平均速度、車種欄位做為研究資料。模式建構前，先將各 VD 所取得之資料，加以整理，刪除遺失及錯誤數據，並綜整為 1 分鐘資料，以方便與 AVI 資料進行分析。本文以民國 95 年 5 月 14 日星期日，國道三號竹南西濱北上路段 VD 及 AVI 所測得之速率資料建立模式。圖 1 為每五分鐘 VD 與 AVI 所測得之平均速率變化情形。

由圖一觀之，全日交通型態可分為四個時段加以探討。其中，半夜時段 (凌晨 24 時至清晨 6 時間) 速率變異較大，部分駕駛有明顯超速行為，部分駕駛則可能因深夜大型車比例較高或駕車視線不清、精神不濟，而致行駛速率降低，使得車輛間彼此速率差異大，增加行駛風險。四座 VD 所測得速率似無法判定何者較高，AVI 所測得速率則明顯均低於四座 VD 測得速率。上午時段 (清晨 6 時至中午 12 時

間) 車速變異明顯縮小, 但駕駛人尚可按行車最高速限行駛。四座 VD 及 AVI 所測得速率均相距不遠。下午時段 (中午 12 時至下午 6 時間) 隨著車流增加, 彼此間干擾增大, 但尚能維持最高速限行駛。AVI 測得速率較上午時段約降低 10 公里, 且明顯低於 VD 測得速率。晚上時段 (下午 6 時至晚上 24 時間) 開始出現大量車潮, 速率驟降, 直至晚上 10 時才逐漸回復暢通。四座 VD 所測得之速率明顯呈現愈上游車流速率愈快之現象 (VD1179 速率最低, VD1126 速率最高), 顯示此北上路段呈現車流逐漸疏解的現象, 而 AVI 測得速率則界於四座 VD 所測得之速率間。

表一為該日各時段車流量及車輛組成之變化。由表一知, 以車種組成觀之, 大型車比例較高之時段在半夜 2 時至 5 時間, 比例高達 20% 以上。此一特性亦解釋該時段速率變異較大之原因。其他時段, 大型車比例則大多低於 5%。



圖一 VD 時間平均速率與 AVI 空間平均速率之每 5 分鐘變化

肆、模式建立

為利用 VD 所測得之時間平均速率資料, 進行空間平均速率之預測。本文利用前述民國 95 年 5 月 14 日星期日國道三號竹南西濱北上路段 VD 及 AVI 所測得之速率資料建立模式。兩座 AVI 可藉由車牌比對, 計算出全日每分鐘之空間平均速率。兩座 AVI 間之四座 VD 則亦彙整出全日每分鐘之時間平均速率。為探討不同時段間之預測模式差異, 本研究分別針對每小時為一時段, 建立各該時段之預測模式。因此, 每一模式均有 60 組樣本, 供模式校估之用。其因變數 y_t 表第 t 時間之 AVI 測得空間平均速率之值。自變數 x_{it} 表第 t 時間第 i 個 VD 測得時間平均速率之值。除了各 VD 所測得之速率外, 本文也嘗試下列四種方式建構模式: 1. 四座 VD 測得速率之平均數與變異數 (計有二個變數); 2. 四座 VD 測得速率 (計有四個變數); 3. 四座 VD 速率經公式(4)轉換 (計有四個變數); 4. 前三座 VD 測得速率之平均值與第四座 VD 測得速率 (計有二個變數); 5. 四座 VD 速率以加權平均速率加以轉換 (單一變數), 但上述線性模式之迴歸績效均不甚理想。

表一 車流量與車輛組成變化

時段	總車流量	大型車		小型車	
		車流量	比例	車流量	比例
0~1	590	33	5.50%	557	94.50%
1~2	352	19	5.30%	333	94.70%
2~3	298	73	24.60%	224	75.40%
3~4	153	30	19.80%	122	80.20%
4~5	142	34	24.10%	109	75.90%
5~6	257	58	22.50%	199	77.50%
6~7	569	57	10.00%	512	90.00%
7~8	714	60	8.40%	654	91.60%
8~9	1182	149	12.60%	1034	87.40%
9~10	1478	78	5.30%	1400	94.70%
10~11	1914	73	3.80%	1842	96.20%
11~12	1478	27	1.80%	1451	98.20%
12~13	1006	84	8.30%	922	91.70%
13~14	1697	109	6.40%	1588	93.60%
14~15	1299	66	5.10%	1234	94.90%
15~16	2241	97	4.30%	2144	95.70%
16~17	2931	250	8.50%	2681	91.50%
17~18	2875	273	9.50%	2602	90.50%
18~19	3462	117	3.40%	3345	96.60%
19~20	3418	95	2.80%	3323	97.20%
20~21	3492	75	2.10%	3417	97.90%
21~22	3815	63	1.60%	3753	98.40%
22~23	3673	58	1.60%	3615	98.40%
23~24	3325	24	1.70%	3268	98.30%
總計	42361	2002	4.73%	40329	95.20%

為提昇變數解釋能力，本文進一步分析因變數與自變數間之關係圖型，提出三種變數轉換函數，分別為取指數、取對數及取平方等三種，如表二所示。當然，為避免迴歸係數值過低，而產生進整誤差 (rounding error)，故各轉換變數，視其需要除以一大數，以克服此一問題。變數經由指數轉換後呈現資料左偏，圖呈凹向上；函數二變數經由對數轉換後呈現資料右偏，圖呈凹向下；若變數呈現完全正相關，將變數以平方轉換為近似直線的圖形。

表二 三種變數轉換型態

變數轉換	轉換函數	說明
函數一	$x_i^* = e^{x_i} / 10^{50}$	VD 測得速率以指數函數加以轉換
函數二	$x_i^* = \ln x_i$	VD 測得速率以對數函數加以轉換
函數三	$x_i^* = x_i^2 / 10000$	VD 測得速率以平方函數加以轉換

另外，由於車輛偵測器佈設間距不一致，同一車流在偵測上會發生落差 (lag) 現象。第一座 VD 與第二座 VD 相距 900 公尺，第三座與第四座 VD 則相距達 3.5 公里。因此，本研究依據偵測器位置及車流速率，研定各種符合車輛運行之時間落

差變化建立迴歸模式。迴歸模型之通式為：

$$y_t = b_0 + b_1 x_{1(t-a_1)}^* + b_2 x_{2(t-a_2)}^* + b_3 x_{3(t-a_3)}^* + b_4 x_{4(t-a_4)}^* + \varepsilon \quad (8)$$

其中， a_i 表第 i 座 VD 測得速率資料之落差次數。*表該變數為轉換變數（函數一～函數三）。

由於車輛偵測器所測得速率係以每分鐘平均速率加以彙整，完整資料下每時段均有 60 筆樣本可供建立每小時之預測模式，根據偵測器佈設位置，本研究擬定各種符合車輛運行之間距變化建立迴歸模式。例例，間距 (00002) 方式係假設 VD 與 AVI 存有時間差，VD1179 與 VD1126 相距約 5 公里，取 2.5 公里為中心點，中心點與 111K 之 AVI 相距 4 公里。以清晨 6 時為例，速率約為 100 公里，平均每分鐘行駛 1.6 公里，因此 4 公里約存在 2 分鐘落差，故將因變數由第 3 筆樣本開始建立迴歸模式，速率越低其間距越大。另外，間距 (01257) 方式係視各 VD 變數皆存在時間落差；以晚上 9 時為例，路段平均速率 60 公里，平均每分鐘行駛約 1 公里，依序經過 VD 編號為 1179、1170、1160、1126，最後通過 111K 由 AVI 拍攝記錄，故以 (01257) 之落差間隔得到各變數第 1 筆樣本。

針對車輛通過 VD 與 AVI 存有時間差，本文擬訂五種間距：1. (00000) 沒有調整間距，速率變化不大找不到趨勢性；2. (00001) 速率均達 100 以上高速行駛，變化不大；3. (00002) 速率 100 左右可能產生的間距；4. (00003) 速率 80~90 可能產生的間距；5. (00004) 速率 60~70 可能產生的間距。至於每個 VD 皆存在時間落差部分，也擬訂五種不同落差組合：1. (00023) 速率為 100 可能出現的落差；2. (00134) 速率為 90~100 可能出現的落差；3. (00135) 速率為 85~95 可能出現的落差；4. (01257) 速率為 50~70 可能出現的落差；5. (01368) 速率為 30~45 可能出現的落差。嘗試不同落差組合時，需符合車流運行原則，故有以下限制：1. 中午之前不套用 (00004)、(01257)、(01368) 此類適用於尖峰之間距；2. 傍晚六時之前不套用 (01257)、(01368) 此類未達速限之間距。下表為各時段經由三種變數轉換函數後加上十種不同間距以及兩種限制所得到之最佳迴歸模式：

表三 各時段模式校估結果

時段	績效		函數 (Lag)	校估結果	截距	X_1^*	X_2^*	X_3^*	X_4^*
0~1	R^2	0.67	函數一	係數	90.31	-16.82	-4.44	-45.01	4.16
	顯著值	0.00	(00002)	p 值	0.00	0.19	0.00	0.01	0.61
1~2	R^2	0.47	函數二	係數	-277.4	28.41	105.99	-18.22	-36.65
	顯著值	0.16	(00001)	p 值	0.46	0.58	0.04	0.66	0.27
2~3	R^2	0.45	函數三 0	係數	102.26	25.46	-21.95	-23.47	8.31
	顯著值	0.18	(00000)	p 值	0.00	0.09	0.12	0.13	0.39
3~4	R^2	0.48	函數二	係數	27.55	16.91	37.59	-31.86	-10.03
	顯著值	0.50	(00135)	p 值	0.88	0.48	0.16	0.34	0.77
4~5	R^2	0.36	函數一	係數	84.89	0.00	-43.33	0.00	0.00
	顯著值	0.37	(00000)	p 值	0.00	0.14	0.57	0.36	0.00

表三 各時段模式校估結果 (續)

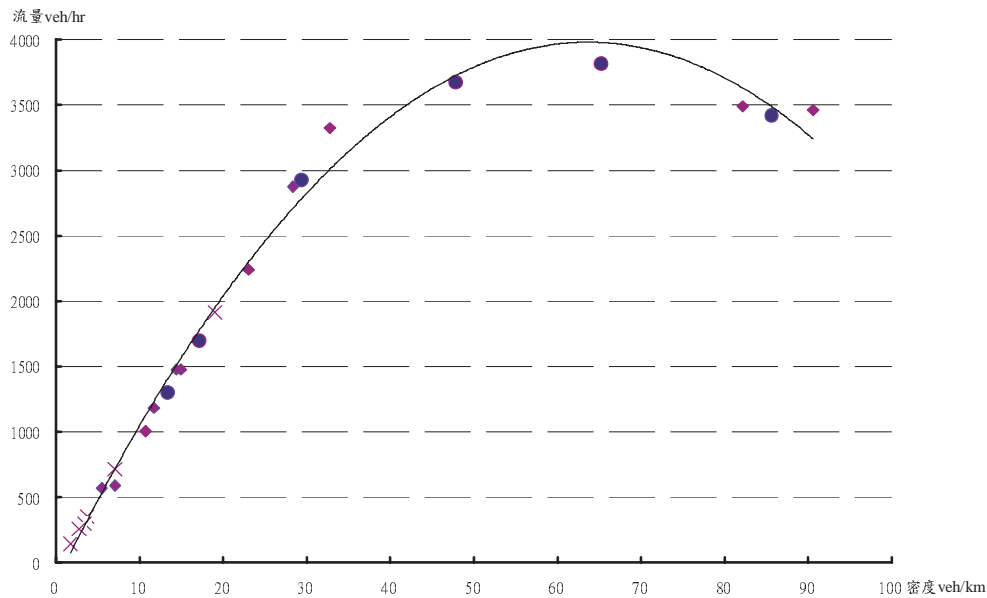
時段	績效		函數 (Lag)	校估結果	截距	X_1^*	X_2^*	X_3^*	X_4^*
5~6	R^2	0.42	函數二	係數	77.63	8.04	18.34	3.39	-26.40
	顯著值	0.26	(00003)	p 值	0.56	0.67	0.22	0.84	0.06
6~7	R^2	0.55	模式二	係數	-347.2	8.59	33.98	9.84	44.51

	顯著值	0.03	(00002)	p 值	0.02	0.56	0.04	0.47	0.02
7~8	R^2	0.46	函數二	係數	-95.55	-7.51	19.61	19.32	10.07
	顯著值	0.15	(00002)	p 值	0.37	0.55	0.11	0.09	0.33
8~9	R^2	0.51	函數二	係數	-161.6	5.24	-1.77	23.84	29.3
	顯著值	0.05	(00023)	p 值	0.08	0.63	0.91	0.10	0.03
9~10	R^2	0.65	函數二	係數	338.15	-68.58	-18.97	54.67	-18.65
	顯著值	0.01	(00135)	p 值	0.02	0.00	0.39	0.01	0.37
10~11	R^2	0.41	函數一	係數	100.47	40.37	86.91	-20.08	-1000
	顯著值	0.18	(00000)	p 值	0.00	0.45	0.02	0.45	0.21
11~12	R^2	0.50	函數二	係數	-122.8	4.23	4.10	18.46	21.51
	顯著值	0.09	(00134)	p 值	0.14	0.68	0.74	0.15	0.03
12~13	R^2	0.55	函數三	係數	61.29	-4.48	30.76	-32.81	37.89
	顯著值	0.02	(00000)	p 值	0.01	0.73	0.03	0.03	0.01
13~14	R^2	0.80	函數一	係數	98.80	-155.8	43.32	-0.01	1000
	顯著值	0.09	(00004)	p 值	0.00	0.74	0.46	0.02	0.51
14~15	R^2	0.79	函數三	係數	77.38	24.65	5.77	-32.90	25.62
	顯著值	0.15	(00004)	p 值	0.03	0.26	0.79	0.14	0.15
15~16	R^2	0.57	函數三	係數	184.67	-3.85	-21.89	-36.01	-14.45
	顯著值	0.20	(00002)	p 值	0.00	0.84	0.30	0.04	0.58
16~17	R^2	0.72	函數三	係數	110.97	-4.92	-7.75	28.05	-28.92
	顯著值	0.00	(00001)	p 值	0.00	0.49	0.26	0.00	0.01
17~18	R^2	0.59	函數一	係數	99.38	1000	-15.58	3.95	1000
	顯著值	0.01	(00135)	p 值	0.00	0.00	0.03	0.67	0.32
18~19	R^2	0.56	函數三	係數	20.29	85.41	19.99	3.82	1.18
	顯著值	0.00	(00000)	p 值	0.01	0.13	0.01	0.08	0.88
19~20	R^2	0.72	函數三	係數	29.60	15.37	-2.29	27.37	7.56
	顯著值	0.00	(01368)	p 值	0.00	0.00	0.66	0.00	0.41
20~21	R^2	0.53	函數一	係數	41.92	0.00	0.00	-35.85	0.00
	顯著值	0.00	(01257)	p 值	0.00	0.00	0.03	0.93	1.00
21~22	R^2	0.86	函數三	係數	47.71	7.36	-0.13	-0.58	13.75
	顯著值	0.00	(01257)	p 值	0.00	0.00	0.94	0.74	0.01
22~23	R^2	0.96	函數三	係數	11.91	21.40	8.42	5.84	44.84
	顯著值	0.00	(00134)	p 值	0.27	0.02	0.27	0.05	0.00
23~24	R^2	0.65	函數一	係數	100.6	0.78	234.02	37.39	75.54
	顯著值	0.00	(00023)	p 值	0.00	0.89	0.00	0.27	0.57

註： x_1^* 為 VD1179 測得速率之落差及轉換後變數。以 0~1 時段為例， x_1^* 為 VD1179 測得速率取 1 分鐘落差及函數一（取指數）轉換之變數。 x_2^* 為 VD1170 測得速率之落差及轉換後變數。 x_3^* 為 VD1160 測得速率之落差及轉換後變數。 x_4^* 為 VD1126 測得速率之落差及轉換後變數。

由本文所建迴歸模式中發現中午 12 時以前 R^2 解釋力較差， R^2 值小於 0.5 之時段中，計有 7 個時段均落於上午時段，顯示於車速穩定的路況中缺乏趨勢性難以得到良好關係式。下午時段 R^2 有明顯提升， R^2 值大於 0.7 之時段中，計有 6 個時段均在下午及晚上時段，隨著車輛增多，車速受到影響後 R^2 解釋能力可提升許多。從駕駛人角度來看，早上車輛少路況佳可由直覺來判斷旅行時間；假日午後車輛增加，對於路況不確定性提高，駕駛可藉此模式獲得更精確的行前道路資訊。根據表三所使用變數轉換模式發現有上午時段傾向採用函數二（取對數），下午時段則傾向採用函數三（取平方）。

進一步將各時段之迴歸績效及其流量與密度間之關係加以繪圖，以分析各時段預測績效與車流特性間之關聯，結果如圖二所示。若將此 24 時段之流量密度關係以迴歸方式加以校估，可得圖二之拋物曲線（呈∩型）。拋物線頂點左方密度與流量成正比為非擁擠車流；頂點右方密度與流量成反比為擁擠車流。由圖知，此一路段於大部分時段均屬於非擁擠車流。各時段之 R^2 值則以 0.5 及 0.7 兩門檻加以劃分。 R^2 值低於 0.5 者，劃歸為預測績效差者，以×表之。 R^2 值界於 0.7 及 0.5 之間者，劃歸為預測績效普通者，以◆表之。 R^2 值大於 0.7 者，劃歸為預測績效佳者，以●表之。由圖中發現在路段車流量在早上時段 2000veh/hr 以下迴歸模式解釋能力較差；路段車流量 2000veh/hr 以上可獲得較佳的 R^2 ，了解流量大於 2000veh/hr 對 R^2 解釋能力具有正面影響。



註：●代表 $R^2 > 0.7$ ，◆代表 $0.5 < R^2 < 0.7$ ，×代表 $R^2 < 0.5$

圖二 預測績效在流量-密度關係圖之分佈關係

以上均以小時為單位建立 VD 與 AVI 速率關係式，以下改將一日切割為四個時段（6 小時）建立預測模式。變數選擇方面沿用之前所嘗試過的組合包括：1. 四座 VD 速率之平均數與變異數（二變數）；2. 四座 VD 速率（四變數）；3. 四座 VD 速率經公式（4）轉換（四變數）；4. 前三座 VD 速率平均數與第四座 VD 速率（二變數）；5. 四座 VD 速率使用加權平均速率轉換（單變數）；6. 三種變數轉換模式（指數、對數、平方）；在四變數情況下均搭配十種間距，結果並不如預期， R^2 在三個時段下都小於 0.3（如表四），即使利用變數轉換加上間距調整也沒有明顯改善，似乎於長時間情境中，以每分鐘來取樣本並不足以表達出速率明顯的變化。

表四 全日四個時段之校估結果（未使用函數轉換與 lag）

時段	績效		係數	截距	X_1	X_2	X_3	X_4
	R^2							
半夜 0~6	R^2	0.14	p 值	72.34	-0.03	0.06	-0.03	-0.19
	顯著值	0.49	p 值	0.00	0.73	0.62	0.73	0.07
上午 6~12	R^2	0.16	p 值	81.17	0.00	0.03	0.04	0.11
	顯著值	0.25	p 值	0.00	0.97	0.58	0.38	0.05
下午 12~18	R^2	0.23	p 值	58.00	0.05	0.07	0.30	-0.07
	顯著值	0.05	p 值	0.01	0.67	0.60	0.01	0.61
晚上 18~24	R^2	0.92	p 值	-32.20	0.34	0.02	0.22	0.68
	顯著值	0.00	p 值	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00

此外，為了解不同樣本長度於迴歸模式績效表現，本研究分別嘗試使用 3 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、12 分鐘之平均速率樣本建立模式，變數則嘗試以下組合：1. 四座 VD 速率之平均數與變異數（二變數）；2. 四座 VD 速率（四變數）；3. 三種變數轉換模式（指數、對數、平方）；於四變數模式上均搭配十種間距調整（最佳模式如表四）。發現樣本長度為十二分時績效最佳，利用四座 VD 速率之平均數與變異數為變數建立模式也相當顯著，而使用變數轉換模式並不能得到最佳績效；此時樣本長度大於路段旅行時間（時速 90 公里約 7 分），因此調整變數間距意義不大並且不能提高績效。故於長時間模式中，增加樣本長度可忽略車輛通過偵測器所產生的時間差，並可直接將 VD 之現點速率設為變數。

表五 全日四個時段之最佳迴歸模式（未使用函數轉換與 lag）

時段	績效		樣本 長度	校估 結果	截距	X_1	X_2	X_3	X_4
	R^2								
半夜 0~6	R^2	0.51	10 分鐘	係數	124.83	0.57	0.26	-1.21	0.08
	顯著值	0.38		p 值	0.12	0.39	0.80	0.08	0.89
上午 6~12	R^2	0.63	12 分鐘	係數	6.03	0.23	0.01	0.46	0.21
	顯著值	0.13		p 值	0.88	0.40	0.99	0.07	0.56
下午 12~18	R^2	0.80	12 分鐘	係數	-15.72	-0.37	0.74	1.08	-0.44
	顯著值	0.04		p 值	0.64	0.66	0.44	0.15	0.36
晚上 18~24	R^2	0.99	12 分鐘	係數	-39.28	0.40	-0.15	0.29	0.81
	顯著值	0.00		p 值	0.00	0.00	0.21	0.01	0.00

表六為分別以 1 分鐘、15 分鐘、30 分鐘、60 分鐘，以及 90 分鐘等不同樣本長度彙整平均速率之方式建立模式。由表知，迴歸結果可發現，當樣本長度愈長時，其預測績效愈佳（ R^2 愈高）。其原因乃是樣本長度愈長時（平均速率之彙整時間長度愈長），其變異也因此降低，故較容易加以預測。但樣本長度為 90 分鐘時，因全日僅有 16 個樣本，所以反使迴歸式解釋能力不顯著。由四時段以及全日模式發現 VD1170（ X_2 ）大多不顯著，顯示該 VD 對預測空間速率之貢獻度最低。

表六 不同樣本時間長度之全日迴歸模式

樣本長度	績效		係數	截距	X_1	X_2	X_3	X_4
	R^2	p 值						
1 分鐘	R^2	0.86	係數	-26.31	0.33	0.09	0.17	0.59
	顯著值	0.00	p 值	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00
15 分鐘	R^2	0.93	係數	-29.90	0.38	-0.01	0.15	0.71
	顯著值	0.00	p 值	0.00	0.00	0.95	0.34	0.00
30 分鐘	R^2	0.94	係數	-28.89	0.53	-0.37	-0.10	0.83
	顯著值	0.00	p 值	0.14	0.01	0.93	0.79	0.01
60 分鐘	R^2	0.98	係數	2.78	1.64	0.85	-2.62	1.06
	顯著值	0.00	p 值	0.92	0.04	0.31	0.13	0.03
90 分鐘	R^2	0.99	係數	6.80	1.58	0.86	-2.45	0.91
	顯著值	0.18	p 值	0.92	0.52	0.72	0.57	0.61

由上述之分析知，本文針對一日之交通速率資料，嘗試以一小時、六小時及全日為時段分別建立迴歸式。因此，以一小時為時段者，樣本數為 60 個（樣本長度為 1 分鐘），並可建立 24 條迴歸式，分別代表各時段之關係式（如表三）。以六小時為時段者，樣本數為 360 個（樣本長度為 1 分鐘），並可建立 4 條迴歸式。以全日為時段者，樣本數為 1440 個（樣本長度為 1 分鐘），僅可建立 1 條迴歸式。

分別建立三種不同時間長度之模式，分別為一小時、六小時、全日。建立每小時模式時考慮到車輛通過偵測器時會造成時間的落差，如使用六小時以及整日延長樣本長度方式，會令部分時段樣本不足十筆（以 3 min 為例），目前 VD 資料內容不算十分精確，故採用調整間距方式找出最佳模式；建立六小時模式中發現調整間距與變數轉換對於迴歸式改善不大，遂朝延長樣本長度方向嘗試，延長樣本長度後四變數之間差異增加，與延長樣本長度後使用變數轉換績效比較相差無幾（大部分還是不經轉換較佳），至於調整間距後變數對於迴歸式的貢獻度也降低，更無法說明為何要調整間距（樣本長度大於旅行時間）；由四時段模式了解要明顯提升績效的方式就是增加樣本長度，不過卻不知道到底要多長才最恰當，故於全日模式中使用不同樣本長度進行試驗。

伍、結論與建議

本文利用 VD 所測得之時間平均速率，建立空間平均速率之預測模式（以 AVI 系統測得速率為基礎）。受限於自動車牌辨識系統目前尚未通過驗收，車輛偵測器於 94 年九月才佈設完成，因此未能有足夠樣本更進一步進行預測與驗證，為研究遺憾之處。模式建立時發現直接使用車輛偵測器速率，或加入新變數（變異數、平均數）、或使用不同時間長度（二小時、三小時）來建立迴歸模式效果均不理想。本文進一步利用三種轉換函數以提昇迴歸績效。結果發現，上午時段採用轉換函數二（取對數），下午時段則採用轉換函數三（取平方）可得較佳績效。於車速變化密集的時段，車輛偵測器佈設間距長短會造成車輛通過時間誤差，須取適當間距來建立迴歸模式，以符合實際車流狀況；模式在車流穩定環境中缺乏趨勢性故難以得到非常好的績效，車流量低於 1200veh/hr 之時段 R^2 值均小於 0.7，當車流量高於 2500veh/hr 之時段其 R^2 值可大於 0.7。此外，延長偵測器擷取資料時間（大

於研究路段旅行時間)，可解決通過不同偵測器所造成的時間差，並可提高模式績效。其中，四時段模式以樣本長度為 12 分鐘較佳，全日模式則以樣本長度為 15 分鐘較適當。

目前 VD 與 AVI 原始檔案儲存格式均為文字檔，讀取整理原始檔案過程頗為繁雜，主管機關應對於目前所有偵測設備檔案加以整合，使用資料庫格式加以儲存，並降低設備故障率，於日後管理或研究均有相當助益。此外，本文係利用多元迴歸建立時間速率與空間速率之關係式，考慮使用其他方法，例如：類神經網路模式、灰關聯模式、灰預測模式。或採用其他相關變數，例如：GPS、交流道、道路坡度、車道數建立模式。最後，為使發揮 ATIS 之功能，未來可進一步由 VD 歷史資料進行長期（幾小時或幾天後）之交通型態預測，以因應用路人查詢之需要。

參考文獻

1. 交通部國道高速公路局，「資料收集系統及整合工程規劃」，民國 90 年。
2. 王文麟，「交通工程學(理論與實用)」，大學用書，民國 87 年。